



U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE  
PATENT AND TRADEMARK OFFICE

<b>TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT</b>		Docket Number: <b>10191/1629</b>	Conf. No. <b>5642</b>
Application Number <b>09/720,761</b>	Filing Date <b>March 26, 2001</b>	Examiner <b>Chen, Kin Chan</b>	Art Unit <b>1765</b>
Invention Title <b>METHODS FOR PLASMA ETCHING OF SILICON</b>		Inventor(s) <b>LAERMER et al.</b>	

Commissioner for Patents  
P. O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

SIR:

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on

Date: 12/4/06

Signature: Tesha Ramos  
Tesha Ramos

A claim to the Convention Priority Date pursuant to 35 U.S.C. § 119 of German Application No. 199 19 469.6 filed on April 29, 1999 in the Federal Republic of Germany was previously made. To complete the claim to the Convention Priority Date, a certified copy of the priority application is enclosed.

No fee is believed to be required. However, if a fee is required, the Commissioner is authorized to charge Deposit Account 11-0600, of Kenyon & Kenyon LLP.

Dated:

12/4/06

Gerard A. Messina, Reg. No. 35,952

KENYON & KENYON LLP  
One Broadway  
New York, N.Y. 10004  
(212) 425-7200 (telephone)  
(212) 425-5288 (facsimile)  
Customer No. 26646

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung DE 199 19 469.6 über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 199 19 469.6

**Anmeldetag:** 29. April 1999

**Anmelder/Inhaber:** Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Plasmaätzen von Silizium

**IPC:** C 23 F 4/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. Oktober 2006  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

  
Ebert

26.04.99 Kut

5 ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

# Verfahren zum Plasmaätzen von Silizium

10

## Stand der Technik



Die Erfindung betrifft Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von Silizium nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

15

## Stand der Technik

20

Aus DE 197 06 682 C2 ist ein Verfahren zum anisotropen Hochratenplasmaätzen von Silizium bekannt, wobei zur Seitenwandpassivierung als passivierendes Material  $\text{SiO}_2$  verwendet wird, das aus dem Zusatz von  $\text{SiF}_4$  und  $\text{O}_2$  zur eigentlichen Ätzchemie von  $\text{SF}_6$  gebildet wird. Gleichzeitig werden dem Ätzgas als  $\text{SiO}_2$ -verzehrende Additive („Scavenger“) kontinuierlich oder getaktet  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  oder  $\text{C}_4\text{F}_8$  zugesetzt, um auf dem Strukturgrund befindliches  $\text{SiO}_2$  selektiv abzutragen.



30

Ein weiteres Hochratenätzverfahren für Silizium wird beispielsweise in DE 42 41 045 C2 vorgeschlagen, wobei eine hochdichte Plasmaquelle mit induktiver Hochfrequenzanregung (ICP-Quelle) oder einer speziellen Mikrowellenanregung (PIE-Quelle) dazu benutzt wird, um aus einem fluorliefernden Ätzgas Fluorradikale und aus einem teflonbildende Monomere liefernden Passiviergas  $(\text{CF}_2)_x$  - Radikale freizusetzen, die ein

teflonartiges, passivierendes Material bilden, wobei Ätz- und Passiviergas alternierend eingesetzt werden.

5 Schließlisch ist aus der Anmeldung DE 43 17 623 A1 bekannt, ein Gemisch aus  $\text{SF}_6$  oder einem anderen fluorliefernden Ätzgas und  $\text{CHF}_3$  oder einem anderen, teflonartige Monomere bildenden Passiviergas, einem hochdichten Plasma auszusetzen, so daß die Fluorradikale den Siliziumstrukturgrund ätzen und gleichzeitig die teflonartige Monomere ein passivierendes  
10 Material auf den Strukturseitenwänden bilden, und somit für ein anisotropes Verhalten des Ätzprozesses sorgen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, bestehende Plasmaätzverfahren für Silizium dahingehend zu verbessern, daß  
15 durch Einsatz neuer Prozeßgase höhere Ätzraten, geringere Profilabweichungen beim Ätzen und eine bessere Umweltverträglichkeit des Prozeßgases gewährleistet sind.

#### Vorteile der Erfindung

20 Die erfindungsgemäßen Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen der unabhängigen Ansprüche haben gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, daß damit eine Verbesserung der Profilkontrolle und eine höhere Ätzrate bei Plasmaätzverfahren von Silizium, insbesondere bei anisotropen Hochratenplasmaätzverfahren, erreicht wird. Gleichzeitig sind die  
25 eingesetzten Prozeßgase insbesondere hinsichtlich des Treibhauseffektes wesentlich umweltverträglicher als bisher eingesetzte Ätzgase oder Additive und damit auch langfristig  
30 verfügbar.

Weiterhin werden bei der Verwendung der fluorliefernden Ätzgase  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$  schon bei relativ geringer Plasmaanregung große Fluormengen freigesetzt, so daß diese sehr ef-

fizient hinsichtlich der Anregung und der erreichten hohen Siliziumätzraten sind und gleichzeitig nur geringe Anforderungen an den Leistungsbedarf einer beispielsweise induktiven Plasmaquelle oder einer Mikrowellen-Plasmaquelle stellen. Weiterhin ist sehr vorteilhaft, daß insbesondere  $\text{ClF}_3$  beim Zerfall zu  $\text{ClF}$  oder  $\text{BrF}_3$  beim Zerfall zu  $\text{BrF}$  leichter und in größerer Zahl Fluorradikale freisetzt, als das bekannte  $\text{SF}_6$  über dessen vorrangigen Zerfallskanal zu  $\text{SF}_4$ . Überdies benötigt die Reaktion von  $\text{ClF}_3$  zu  $\text{ClF}$  und  $2\text{F}^*$  bzw.  $\text{BrF}_3$  beim Zerfall zu  $\text{BrF}$  und  $2\text{F}^*$  auch eine sehr viel geringere Aktivierungsenergie als die Reaktion von  $\text{SF}_6$  zu  $\text{SF}_4$  und  $2\text{F}^*$ . Somit treten infolge geringerer benötigter Hochfrequenz- bzw. Mikrowellenleistungen an der Plasmaquelle zur Erzeugung der benötigten großen Fluorradikalmengen dort sehr vorteilhaft auch weniger Störeffekte auf, die im weiteren die erzeugten Ätzprofile beeinträchtigen könnten.

Weitere Vorteile resultieren aus der Tatsache, daß bei Verwendung von Interhalogenfluoriden als fluorliefernde Ätzgase keine Schwefelausscheidungen im Abgasbereich der Ätzanlage auftreten können, die andernfalls beseitigt bzw. unterdrückt werden müssen.

Schließlich sind insbesondere  $\text{ClF}_3$  und  $\text{BrF}_3$  chemisch instabil und hydrolisieren an Luft mit der Luftfeuchtigkeit leicht zu  $\text{HF}$  und  $\text{HCl}$  bzw.  $\text{HBr}$ . Daher entsteht mit diesen Verbindungen oder Gasen kein Treibhauseffekt, so daß ihre großtechnische Verfügbarkeit unter Umweltgesichtspunkten auch langfristig gesichert ist, was beispielsweise für  $\text{SF}_6$  nicht uneingeschränkt gilt.

Das als das passivierende Material, insbesondere  $\text{SiO}_2$ , oder ein teflonartiges Material, verzehrende Additiv im Prozeßgas zeitweilig eingesetzte  $\text{NF}_3$ , hat gegenüber aus dem Stand der

Technik bekannten Additiven auf Basis von Fluor-Kohlenstoff-Verbindungen den Vorteil, daß ein wesentlich stärkerer Abtrag von dielektrischen Schichten, die den Strukturgrund maskieren, erreicht wird, so daß dieses im jeweiligen Plasmaätzverfahren in gegenüber bekannten Additiven deutlich geringerer Menge eingesetzt werden muß und damit auch insgesamt geringere negative Auswirkungen auf den Gesamtprozeß, insbesondere hinsichtlich einer damit zwangsläufig verbundenen Verdünnung der übrigen aktiven Reaktanten, hat.

Weiter hat das Additiv  $\text{NF}_3$  im Gegensatz zu Fluorkohlenwasserstoffen ( $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  usw.) dank schwacher Hydrolysewirkung eine relativ kurze Lebensdauer an Luft, so daß ebenfalls kein Treibhauseffekt auftritt.  $\text{NF}_3$  wird in der Atmosphäre bereits nach kurzer Zeit durch Luftfeuchtigkeit gebunden. Im Gegensatz zu den als Treibhausgasen wirkenden Fluorkohlenwasserstoffen ist also auch hier die großtechnische Verfügbarkeit langfristig gesichert.

Die Zugabe eines leichten und leicht ionisierbaren Gases, d.h. eines Gases mit geringer Atommasse, wie He,  $\text{H}_2$  oder Ne, aus dem leicht positiv geladene Ionen erzeugbar sind, zu dem Ätzgas hat den Vorteil, daß damit Aufladungseffekte, die sich insbesondere an Übergängen zwischen dem elektrisch leitfähigen Silizium und elektrisch isolierenden Dielektrika, die beispielsweise als Maskenmaterial oder vergrabene Opferschichten verwendet werden, störend bemerkbar machen, erheblich vermindert werden. Somit wird eine deutliche Profilverbesserung der erzeugten Ätzprofile, insbesondere beim Übergang von Silizium auf eine vergrabene Oxidschicht, eine Polymerstoppschicht oder am Maskenrand, d.h. am Übergang von der dielektrischen Maskierschicht (Photolack oder Hartstoffmaske aus  $\text{SiO}_2$ ) zu dem zu ätzenden Silizium, erzielt.

Dieser Aufladungseffekt beruht darauf, daß negativ geladene Elektronen, die ungerichtet auf die Waferoberfläche einwirken, vorzugsweise auf den Seitenwänden der zu ätzenden Struktur landen, so daß die Seitenwände relativ zum Ätzgrund negativ aufgeladen werden. Innerhalb des elektrisch leitfähigen Siliziums sind diese Elektronen weitgehend frei beweglich, während auf dem elektrisch isolierenden Ätzgrund befindliche positiv geladene Ionen dort fixiert sind. Insgesamt ziehen somit die beweglichen Elektronen in die Übergangszone zwischen Silizium und Dielektrikum, so daß dort große elektrische Feldstärken entstehen, die im stationären Fall schließlich dazu führen, daß im Mittel genausoviele Ionen zur Seitenwand gelangen, wie zuvor Elektronen, weil sie von entsprechend großen elektrischen Feldern zur Seitenwand abgelenkt werden. Dieser Effekt ist als "Notching Phänomen" in die Literatur eingegangen und führt zur Ausbildung größer, in die Seitenwand eingetzter Taschen.

Die Zugabe eines leichten, leicht ionisierbaren Gases wie beispielsweise He vermindert diese Taschenbildung sehr vorteilhaft erheblich.

Ein anderes Problem, das auf elektrische Aufladungseffekte zurückzuführen ist, und das durch die Zugabe des leichten, leicht ionisierbaren Gases ebenfalls gelöst wird, tritt am oberen Maskenrand auf. Die Oberfläche einer dielektrischen Maskierschicht auf dem Siliziumwafer wird durch sogenanntes "Self-Biasing" vielfach als Folge einer an einer üblichen Substratelektrode angelegten hochfrequenten Spannung negativ aufgeladen („DC-Bias"). Diese Aufladung erklärt sich aus der unterschiedlichen Beweglichkeit von Elektronen und Ionen, d.h. um im Zeitmittel genausoviele der unbeweglicheren Ionen wie der hochbeweglichen Elektronen zur Oberfläche zu ziehen, muß sich dort eine negative elektrische Vorspannung aufbau-

en. Wird nun in den Öffnungen einer Maskierschicht in das Silizium hineingeätzt, führen diese Aufladungen der Oberfläche gegenüber der neu erzeugten Siliziumseitenwand zur Konzentration von Elektronen im Übergang von Silizium zur dielektrischen Maskierschicht. Durch Ionenablenkung werden daher verstärkt Ionen in diesen oberen Teil des geätzten Siliziumtrenchgrabens gelenkt, was dort ebenfalls zur Ausbildung von Profilunregelmäßigkeiten oder Taschen führt. Schließlich hat die Zugabe eines leichten, leicht ionisierbaren Gases zu dem Ätzgas den Vorteil, daß der aus DE 42 41 045 bekannte Seitenwandfilmtransportmechanismus dahingehend verbessert wird, daß mehr Polymerabtrag vom Ätzgrund und weniger Polymerabtrag von den Seitenwänden erfolgt, die Selektivität also verbessert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

So ist es besonders vorteilhaft, daß die erfindungsgemäßen Verfahren auch untereinander kombiniert werden können, wobei die Vorteile der einzelnen Verfahren jeweils weitgehend erhalten bleiben. Im übrigen kann es vorteilhaft sein, dem Ätzgas, dem das passivierende Material bildenden Gas, insbesondere dem  $\text{SiF}_4$ , dem Additiv oder einem als Reaktionspartner verwendeten Gas wie beispielsweise Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxid oder einem Stickoxid zusätzlich zur Verdünnung Argon zuzusetzen.

Insgesamt hängt bei den beschriebenen Mechanismen die Größe der elektrischen Felder, die benötigt werden, um das dynamische Gleichgewicht zwischen Ionen- und Elektroneneinfall herzustellen, unmittelbar davon ab, wie leicht sich ankommende Ionen durch elektrische Felder ablenken lassen. Es ist daher offensichtlich, daß relativ schwere Ionen erst durch



relativ große Felder abgelenkt werden, während relativ leichte Ionen schon bei relativ kleinen Feldstärken abgelenkt werden und den Ladungsausgleich vollziehen können. Durch das Einbringen einer Ionensorte von kleiner Atommasse wird insofern sehr vorteilhaft erreicht, daß sich nur noch kleine Feldstärken in den beschriebenen Bereichen aufbauen und bereits bei diesen kleinen Feldstärken genügend viele der leichten Ionen so abgelenkt werden, daß sie den Ladungsausgleich vollziehen können.

Die ebenfalls im Ätzverfahren, beispielsweise als ionisierte Moleküle oder Molekülbruchstücke des Ätzgases oder Additives, auftretenden schweren Ionen werden aufgrund ihrer Masse und damit verbundenen Trägheit von diesen elektrischen Feldern nicht mehr abgelenkt, sondern fliegen ungehindert durch bis zum Ätzgrund, wo sie vorteilhaft beispielsweise eine Ätzreaktion oder einen Ätzgrundpolymerabtrag vorantreiben können. Es findet somit durch die Zugabe des leichten, leicht ionisierbaren Gases insgesamt sehr vorteilhaft eine Trennung zwischen leichten Ionen, welche den Ladungsausgleich durchführen, und schweren Ionen statt, welche vorzugsweise auf den Ätzgrund einwirken.

Neben dem Edelgas Helium als leichtes Gas ist bei einigen Plasmaätzprozessen auch die Verwendung von Wasserstoff ( $H_2$ ) vorteilhaft, sofern dieser mit der Prozeßchemie verträglich ist. Wasserstoff hat als Molekül in ionisierter Form eine Atommasse von lediglich 2 und dissoziiert überdies im Plasma besonders leicht zu positiv geladenen Atomen mit der Atommasse 1.

### Ausführungsbeispiele

Das erste Ausführungsbeispiel geht zunächst vom einem anisotropen Plasmaätzprozeß mit einer hochdichten Plasmaquelle, beispielsweise einer ICP-Plasmaquelle, einer ECR-Plasmaquelle oder einer PIE-Plasmaquelle aus, wie er aus DE 197 06 682 C2 bekannt ist.

Anstelle des dort eingesetzten fluorliefernden Ätzgases  $\text{SF}_6$  oder  $\text{NF}_3$  wird jedoch dem Prozeßgas als Ätzgas in einem ersten Ausführungsbeispiel gasförmiges Chlortrifluorid  $\text{ClF}_3$ , Bromtrifluorid  $\text{BrF}_3$  oder Iodpentafluorid  $\text{IF}_5$  oder eine Mischung dieser Gase zugesetzt. Bevorzugt wird Chlortrifluorid oder Bromtrifluorid eingesetzt, das direkt über einen Massenflußregler zugeführt werden kann, da es einen ausreichend hohen Dampfdruck besitzt. Im Fall der Verwendung von flüssigen Bromtrifluorid wird zu dessen Überführung in die Gasphase dessen Temperatur vorzugsweise auf oberhalb von  $20^\circ\text{C}$  gehalten. Es ist dabei weiter möglich, zusätzlich in an sich bekannter Weise ein inertes Trägergas, beispielsweise Argon, beizumischen. Anstelle von Argon kann auch Helium verwendet werden.

Weiter werden die aus DE 197 06 682 C2 bekannten  $\text{SiO}_2$ -verzehrenden Additive ( $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  usw.) durch Stickstofftrifluorid  $\text{NF}_3$  ersetzt, das dem Prozeßgas kontinuierlich oder bevorzugt getaktet zugesetzt wird. Dieses Additiv dient insbesondere einer beschleunigten Entfernung des passivierenden Materials vom Ätzgrund.

$\text{NF}_3$  zerfällt unter nicht zu intensiver Plasmaanregung, d.h. typischen ICP-Anregungsbedingungen, vorrangig in radikalische Bruchstücke  $\text{NF}_x$  (mit  $x = 1, 2$ ), welche äußerst aggressiv gegenüber dielektrischen Materialien reagieren und somit

beispielsweise gegenüber  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}$ ,  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  (Siliziumoxynitrid) oder teflonartigen Materialien als sehr effiziente abtragende Reaktionspartner wirken.

5 Die dabei gleichzeitig freigesetzten Fluormengen aus der Dissoziation von  $\text{NF}_3$  fallen gegenüber den Fluormengen aus den fluorliefernden Ätzzgasen, beispielsweise  $\text{ClF}_3$  oder  $\text{BrF}_3$ , kaum ins Gewicht und tragen außerdem zur Siliziumätzreaktion bei.

10

Die Passivierung der Strukturseitenwände im Prozeß wird gegenüber der Lehre der DE 197 06 682 C2 unverändert durch den zumindest zeitweiligen Zusatz von  $\text{SiF}_4$  und einem Reaktionspartner, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  oder  $\text{N}_2$  zu dem Prozeßgas erreicht. Bevorzugt ist Sauerstoff.

15

Hinsichtlich der weiteren Prozeßparameter (insbesondere Gasflüsse, Prozeßdrücke, Ionenenergie und eingestrahlte Plasmaleistungen), sei auf die entsprechenden, bereits aus DE 197 06 682 C2 bekannten Parameter verwiesen, die weitgehend beibehalten werden können.

20

Eine bevorzugte Zusammensetzung des Prozeßgases ausgehend von dem aus DE 197 06 682 C2 bekannten Verfahren ist beispielsweise, durch folgende Rezepturen gegeben:

25

60 sccm  $\text{ClF}_3$  + 50 sccm  $\text{O}_2$  + 50 sccm  $\text{SiF}_4$  + 70 sccm He +  
5 sccm  $\text{NF}_3$  bei konstanter Zugabe, 20 mTorr Druck, 1000 Watt  
Hochfrequenzleistung bei einer Frequenz von 13.56 MHz an der  
30 Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der  
Substratelektrode

oder:

100 sccm  $\text{BrF}_3$  + 50 sccm  $\text{O}_2$  + 50 sccm  $\text{SiF}_4$  + 70 sccm He; zusätzliche Zugabe von 30 sccm  $\text{NF}_3$  periodisch alle 30 bis 60 Sekunden, vorzugsweise alle 45 Sekunden über eine Zeitdauer von jeweils 5 Sekunden, Druck 20 mTorr, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

In einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird zunächst von einem Verfahren ausgegangen, wie es aus DE 42 41 045 C1 bekannt ist. In diesem bekannten Verfahren wird eine anisotrope Ätzung von Silizium mittels eines Plasmas, insbesondere mittels eines Mikrowellenplasmas oder eines über eine induktive Plasmaquelle erzeugten Plasmas, vorgenommen, wobei der anisotrope Ätzvorgang in separaten, jeweils alternierend aufeinanderfolgenden Ätz- und Polymerisations- bzw. Passivierschritten getrennt voneinander durchgeführt wird, welche unabhängig voneinander gesteuert sind. Dabei wird während der Polymerisationsschritte auf eine durch eine Ätzmaske definierte laterale Begrenzung von Strukturen ein Polymer aufgebracht, das während der nachfolgenden Ätzschritte jeweils wieder abgetragen wird.

Dazu wird dem Prozeßgas zumindest zeitweilig, insbesondere während der Ätzschritte,  $\text{SF}_6$  als fluorlieferndes Ätzgas zugesetzt. Während der Polymerisationsschritte wird dem Prozeßgas weiter, insbesondere im Fall einer induktiv gekoppelten Plasmaquelle, Octafluorocyclobutan  $\text{C}_4\text{F}_8$  oder Hexafluorpropen  $\text{C}_3\text{F}_6$  als ein teflonbildende Monomere lieferndes Passiviergas zugesetzt. Dieses Passiviergas baut insbesondere auf den Seitenwänden der geätzten Strukturen als passivierendes Material einen teflonartigen Schutzfilm auf, der diese vor einem Ätzangriff durch Fluorradikale schützt.

Dieses in soweit an sich bekannte Verfahren wird erfindungs-  
gemäß dadurch verbessert, daß dem Prozeßgas zusätzlich zu-  
mindest zeitweilig Helium in Form von  $\text{He}^4$  oder  $\text{He}^3$  zugesetzt  
wird, wobei dieser Zusatz entweder kontinuierlich sowohl  
5 während der Dauer der Ätzschnitte, als auch während der Dau-  
er der Passivierschnitte erfolgt, da Helium als Inertgas die  
Prozeßchemie in keinsten Weise beeinflusst. Durch die Zugabe  
des Heliums wird in beiden Schritten gewährleistet, daß un-  
erwünschte Aufladungen reduziert und ein schädlicher Ionen-  
10 einfall auf die Seitenwände geätzter Strukturen, wie erläu-  
tert, permanent unterdrückt oder reduziert wird.

Alternativ kann der Heliumsatz jedoch auch nur während der  
Ätzschnitte oder nur während der Polymerisations- bzw. Pas-  
sivierschnitte erfolgen, d.h. der Heliumfluß wird wie das  
15 Ätz- bzw. Passiviergas getaktet, wobei der Einsatz von Heli-  
um zweckmäßig speziell während der Ätzschnitte zugesetzt  
wird, da es gerade beim Weiterätzen darauf ankommt, den Auf-  
bau stärkerer Streufelder in den erzeugten Trenchgräben be-  
20 reits im Entstehen wirksam zu unterdrücken. Bevorzugt wird  
das Helium in beiden Prozeßschritten durchgehend mit kon-  
stantem Gasfluß zugeführt.

Ein geeigneter Heliumgasfluß liegt üblicherweise zwischen 10  
25 und 100 sccm, es sind aber auch kleinere oder insbesondere  
größere Flüsse möglich, je nach Saugleistung der angeschlos-  
senen Turbomolekularpumpe der Ätzanlage.

Zur Unterstützung des Abtrags des passivierenden Materials  
30 vom Ätzgrund kann auch in diesem Fall zumindest zeitweise  
 $\text{NF}_3$  als eine das passivierende Material verzehrende Substanz  
eingesetzt werden.

Eine bevorzugte Zusammensetzung des Prozeßgases im Fall der Plasmaerzeugung über eine induktiv gekoppelte Plasmaquelle (ICP-Quelle) ist beispielsweise, ausgehend von DE 42 41 045 C1, durch folgende Rezeptur gegeben:

5

Passivierschritt:

100 sccm  $C_3F_8$  oder  $C_4F_8$  + 50 sccm He über 5 Sekunden bei 12 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, keine Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

10

Ätzschritt:

130 sccm  $SF_6$  + 20 sccm  $O_2$  + 50 sccm He über 9 Sekunden bei 20 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

15

Weitere Ausführungsbeispiele für die Prozeßgaszusammensetzung, ausgehend von dem Verfahren gemäß DE 42 41 045 C2, sind gegeben durch die folgenden Rezepturen, bei denen in den Ätzschritten jeweils das fluorliefernde Ätzgas  $SF_6$  durch  $ClF_3$  oder  $BrF_3$  ersetzt ist. Zusätzlich wird dem Prozeßgas in den Ätzschritten als das passivierende Teflonmaterial insbesondere vom Ätzgrund bevorzugt abtragendes Additiv zumindest zeitweise  $NF_3$  zugesetzt. Die Verfahrensparameter in den Passivierschritten werden dabei gegenüber dem vorausgehenden Ausführungsbeispiel unverändert beibehalten.

20

25

Ätzschritt:

200 sccm  $ClF_3$  + 10 sccm  $NF_3$  + 50 sccm He über 10 Sekunden bei 20 mTorr Druck, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

30

oder:

Ätzschrift:

200 sccm  $\text{ClF}_3$  + 50 sccm He über 10 Sekunden bei 20 mTorr  
5 Druck, zusätzlich 30 sccm  $\text{NF}_3$  während der ersten 3 Sekunden  
der Ätzschrift, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plas-  
maquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der  
Substratelektrode

10 Weitere Rezepturen setzen anstelle von  $\text{NF}_3$  alternativ  $\text{O}_2$  als  
das teflonartige, passivierende Material insbesondere vom  
Ätzgrund bevorzugt abtragende Additiv ein. Da Sauerstoff  
deutlich weniger aggressiv agiert als die im Plasma erzeug-  
ten  $\text{NF}_3$ -Bruchstücke, muß dem Ätzgas zumindest zeitweise ein  
15 wesentlich höherer Sauerstofffluß zugesetzt werden.

Der deutlich geringere Sauerstoffanteil, der in einer vor-  
stehenden Rezeptur dem  $\text{SF}_6$  als Ätzgas zugesetzt worden war,  
diente dort nur zur Unterdrückung einer Schwefelausscheidung  
20 im Abgasbereich. Diese Schwefelausscheidung tritt jedoch bei  
der Verwendung von  $\text{ClF}_3$  als Ätzgas nicht auf, so daß der dem  
 $\text{ClF}_3$  zumindest vorübergehend zugesetzte Sauerstoffanteil  
voll für den Abtrag des passivierenden Materials insbesonde-  
re vom Ätzgrund zur Verfügung steht. Bei weiter hinsichtlich  
25 der Zusammensetzung und der Verfahrensparameter unveränder-  
ten Passivierschritten ergibt sich damit als weitere vor-  
teilhafte Rezeptur für die Ätzschrift:

Ätzschrift:

30 250 sccm  $\text{ClF}_3$  + 50 sccm He über 10 Sekunden, zusätzlich 100  
sccm  $\text{O}_2$  während der ersten 4 Sekunden, Druck 30 mTorr, 1200  
Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30  
Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

oder:

Ätzschrift:

200 sccm  $\text{ClF}_3$  + 50 sccm He + 50 sccm  $\text{O}_2$  über 10 Sekunden,  
5 Druck 30 mTorr, 1000 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

10 Hinsichtlich weiterer Prozeßparameter sei auf die entsprechenden, bereits aus DE 42 41 045 C1 bekannten Parameter verwiesen, die im übrigen weitgehend beibehalten werden können.

15 Sofern Wasserstoff als leichtes, leicht ionisierbares Gas dem Prozeßgas zugegeben werden soll, ist dieser Zusatz in einem Verfahren auf Basis der DE 42 41 045 C1 lediglich während der Passivierschritte möglich. Ein Wasserstoffzusatz zum Ätzingas würde mit den freigesetzten Fluorradikalen zu HF reagieren und diese dadurch neutralisieren, d.h. diese Fluorradikale stehen anschließend für eine Ätzreaktion mit Silizium nicht mehr zur Verfügung. Ferner besteht wegen des Sauerstoffanteils im Ätzschrift Explosionsgefahr durch Knallgasbildung im Abgasbereich der Ätzanlage. Schließlich  
20 muß der zugegebene Wasserstoff auch im Passivierschritt in der Passivierchemie berücksichtigt werden. Da das als Passiviergas in dem Prozeßgas zeitweilig, insbesondere während der Passivierschritte, eingesetzte Octafluorcyclobutan  $\text{C}_4\text{F}_8$  oder Hexafluorpropen  $\text{C}_3\text{F}_6$  durch Wasserstoffzusatz an Fluor verarmt, ist es in diesem Fall daher zweckmäßig, auf ein  
25 fluorreicheres Passiviergas auszuweichen. Dazu sind vor allem Perfluoralkane wie beispielsweise  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$  oder bevorzugt  $\text{C}_4\text{F}_{10}$  geeignet.  
30



Auf diese Weise wird über den Wasserstoffzusatz in den Passivierschritten einerseits ein überschüssiger Fluoranteil unter HF-Bildung gebunden und die gewünschte Polymerisationswirkung erreicht, und andererseits steht stets genügend Wasserstoff für eine Ionisationsreaktion zur Verfügung, um Aufladungserscheinungen zu reduzieren.

In Fall der Wasserstoffzugabe zum Prozeßgas geeignete Prozeßparameter sind beispielsweise, ausgehend von einem Verfahren nach Art der DE 42 41 045 C1, durch die folgende Rezeptur gegeben, wobei durch geeignete Maßnahmen im Abgasbereich sicherzustellen ist, daß keine Explosionsgefahr entsteht. Dazu ist beispielsweise eine an sich bekannte Vorrichtung zur katalytischen Wasserstoffumsetzung zwischen einer im Abgasbereich eingesetzten Turbomolekularpumpe und einer Drehschieberpumpe vorgesehen.

Passivierschritt:

100 sccm  $C_4F_{10}$  + 70 sccm  $H_2$  über 5 Sekunden bei 12 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung der Plasmaquelle, keine Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode.

Ätzschritt:

130 sccm  $SF_6$  + 20 sccm  $O_2$  über 9 Sekunden bei 20 mTorr Druck, 800 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmaquelle, 5 Watt bis 20 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

Eine weitere Rezeptur sieht bei gegenüber dem Vorstehenden unveränderten Passivierschritten vor,  $SF_6$  als fluorlieferndes Ätzgas durch  $BrF_3$  zu ersetzen, dem als das passivierende Teflonmaterial insbesondere vom Ätzgrund bevorzugt abtragen des Additiv zumindest zeitweise  $NF_3$  zugesetzt wird.

Ätzschritt:

150 sccm  $\text{BrF}_3$  + 50 sccm Ar oder Helium (als inertes Trägergas) + 10 sccm  $\text{NF}_3$  über 10 Sekunden, 25 mTorr Druck, 1500 Watt Hochfrequenzleistung an der Plasmquelle, 5 Watt bis  
5 30 Watt Hochfrequenzleistung an der Substratelektrode

Durch die durch die Helium- oder Wasserstoffzugabe erreichte Unterdrückung von Profilabweichungen ist es im übrigen ohne weiteres zusätzlich möglich, nun höhere Siliziumätzraten zu  
10 erreichen, indem die Leistungsparameter des eingesetzten Plasmaätzprozesses, insbesondere der Plasmaquelle, beispielsweise von 800 Watt auf bis zu 3000 Watt hochskaliert werden.

Durch den erfindungsgemäßen Prozeßgaszusatz von insbesondere He oder  $\text{H}_2$  wird schließlich auch die Selektivität zwischen dem Seitenwandpolymerfilmabtrag und Ätzgrundpolymerabtrag während der Ätzschritte dahingehend verbessert, daß der Ätzgrundpolymerabtrag beschleunigt und der Seitenwandpolymerfilmabtrag reduziert wird. Dies ist eine Folge  
20 der bevorzugten Ablenkung leichter Ionen zur Seitenwand, während schwere Ionen ungehindert den Ätzgrund erreichen.

Die Zugabe des leichten und leicht zu ionisierenden Gases wie  $\text{H}_2$ , Ne oder bevorzugt He wird umso wirksamer, je niedriger die Frequenz der Substratelektrodenspannung an der Substratelektrode ist, da die leichten Ionen aufgrund ihrer geringeren Trägheit zunehmend der elektrischen Feldvariation folgen können. Das Anlegen einer hochfrequenten Substratelektrodenspannung über einen Substratspannungsgenerator (Bias Power) an das zu ätzende Substrat ist an sich bekannt und dient üblicherweise zur Beschleunigung von im Plasma erzeugten Ionen auf das Substrat.  
30

5

Im erläuterten Beispiel wird die eingesetzte hochfrequente Substratspannung dazu in ihrer Frequenz beispielsweise von üblichen 13,56 MHz auf weniger als 2 MHz verringert. Damit wirkt sich der Massenunterschied des leichten Gasbestand-

teils im Vergleich zu den übrigen Bestandteilen des Ätzgases besonders stark aus.

26.04.99 Kut

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

### Patentansprüche

10 1. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens zumindest auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens  
15 ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweise ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$  enthält.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material bildendes Gas mindestens ein Gas ausgewählt aus der Gruppe  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$  oder  $\text{C}_2\text{F}_6$  zugesetzt wird.

30

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{NO}_2$  oder  $\text{N}_2$  zugesetzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein das passivierende Material, insbesondere  $\text{SiO}_2$  oder ein teflonar-

tiges Material, verzehrendes Additiv, insbesondere  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ , ein Fluoralkan oder  $\text{NF}_3$  zugesetzt wird.

5            5.        Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht zu ionisierendes Gas, insbesondere  $\text{H}_2$ , He oder Ne, zugesetzt wird.

10           6.        Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens zumindest auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens  
15           ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material, insbesondere  $\text{SiO}_2$  oder ein teflonartiges Material, verzehrendes Additiv  $\text{NF}_3$  zugesetzt wird.

20           7.        Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{SF}_6$ ,  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$  enthält.

25           8.        Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material bildendes Gas mindestens ein Gas ausgewählt aus der Gruppe  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$  oder  $\text{C}_2\text{F}_6$   
30           zugesetzt wird.

9.        Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas,

ausgewählt aus der Gruppe  $O_2$ ,  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$ ,  $Ar$ ,  $NO_2$  oder  $N_2$  zugesetzt wird.

5      10.    Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht zu ionisierendes Gas, insbesondere  $H_2$ ,  $He$  oder  $Ne$ , zugesetzt wird.

10      11.    Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet,  
15      net, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht ionisierbares Gas, insbesondere  $H_2$ ,  $He$  oder  $Ne$ , zugesetzt wird.

20      12.    Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $SF_6$ ,  $ClF_3$ ,  $BrF_3$  oder  $IF_5$  enthält.

25      13.    Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material bildendes Gas mindestens ein Gas ausgewählt aus der Gruppe  $SiF_4$ ,  $C_4F_8$ ,  $C_3F_6$ ,  $C_4F_{10}$ ,  $C_3F_8$  oder  $C_2F_6$  zugesetzt wird.

30      14.    Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe  $O_2$ ,  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $CO_2$ ,  $Ar$ ,  $NO_2$  oder  $N_2$  zugesetzt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein das passivierende Material, insbesondere  $\text{SiO}_2$  oder ein teflonartiges Material verzehrendes Additiv, insbesondere  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ , ein Fluoralkan oder  $\text{NF}_3$  zugesetzt wird.

16. Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat, mit einem Prozeßgas, wobei vor und/oder während des Ätzens auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden wird, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweise ein fluorlieferndes Ätzgas zugegeben wird, das mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$  enthält, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig als ein das passivierende Material verzehrendes Additiv  $\text{NF}_3$  zugesetzt wird, und daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht ionisierbares Gas, insbesondere  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$  oder  $\text{Ne}$ , zugesetzt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas weiterhin zumindest zeitweilig mindestens ein das passivierende Material bildendes Gas, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_{10}$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$  oder  $\text{C}_2\text{F}_6$  zugesetzt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßgas zumindest zeitweilig mindestens ein Gas, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{NO}_2$  oder  $\text{N}_2$  zugesetzt wird.

26.04.99 Kut

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

5

## Verfahren zum Plasmaätzen von Silizium


10

### Zusammenfassung

15

20

30

 den Verfahren zum Plasmaätzen, insbesondere zum anisotropen Plasmaätzen, von lateral definierten Strukturen in einem Siliziumsubstrat unter Verwendung eines Prozeßgases vorgeschlagen. Dabei wird vor und/oder während des Ätzens auf den Seitenwänden von lateral definierten Strukturen zumindest zeitweilig mindestens ein passivierendes Material abgeschieden. In einem ersten Verfahren wird vorgeschlagen, dem Prozeßgas als fluorlieferndes Ätzgas mindestens eine der Verbindungen, ausgewählt aus der Gruppe  $\text{ClF}_3$ ,  $\text{BrF}_3$  oder  $\text{IF}_5$ , zuzusetzen. In einem zweiten Verfahren wird dem Prozeßgas zumindest zeitweilig als das passivierende Material verzehrendes Additiv  $\text{NF}_3$  zugesetzt. Schließlich wird in einem dritten Verfahren dem Prozeßgas zumindest zeitweilig ein leichtes und leicht ionisierbares Gas, insbesondere  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$  oder  $\text{Ne}$ , zugesetzt. Die drei vorgeschlagenen Verfahren können auch kombiniert werden.

